

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-069743

(43)Date of publication of application : 09.03.1999

(51)Int.Cl. H02K 21/14
H02K 7/12
H02K 29/06
H02P 5/08

(21)Application number : 09-214217

(71)Applicant : HITACHI METALS LTD

(22)Date of filing : 08.08.1997

(72)Inventor : MASUZAWA MASAHIRO

HIRAO NORIYOSHI

SASAKI TAKASHI

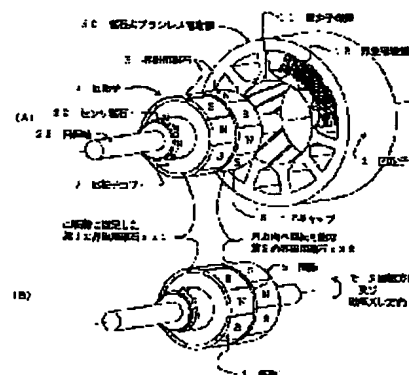
MITA MASAHIRO

(54) MAGNET TYPE BRUSHLESS MOTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnet type brushless motor producing a high torque during low speed rotation while keeping a high conversion efficiency up to an r.p.m. about three times as high as conventional r.p.m.

SOLUTION: The field magnet 3 of a rotor 2 comprises first and second field magnets 31, 32 rotatable relatively. A mechanism for varying the phase of combined pole of the field magnet relative to the first field magnet 31 as the rotor 2 rotates arranges the poles of different polarity in the first and second field magnets 31, 32 during low speed rotation. A governor functions with centrifugal force as the rotational speed increases and a relative rotational force is imparted to the second field magnet 32.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-69743

(43)公開日 平成11年(1999) 3月9日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 2 K 21/14

H 0 2 K 21/14

M

7/12

7/12

A

29/06

29/06

Z

H 0 2 P 5/08

H 0 2 P 5/08

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願平9-214217

(22)出願日

平成9年(1997) 8月8日

(71)出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72)発明者 増澤 正宏

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社磁性材料研究所内

(72)発明者 平尾 則好

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社磁性材料研究所内

(72)発明者 佐々木 崇

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社熊谷工場内

(74)代理人 弁理士 森田 寛

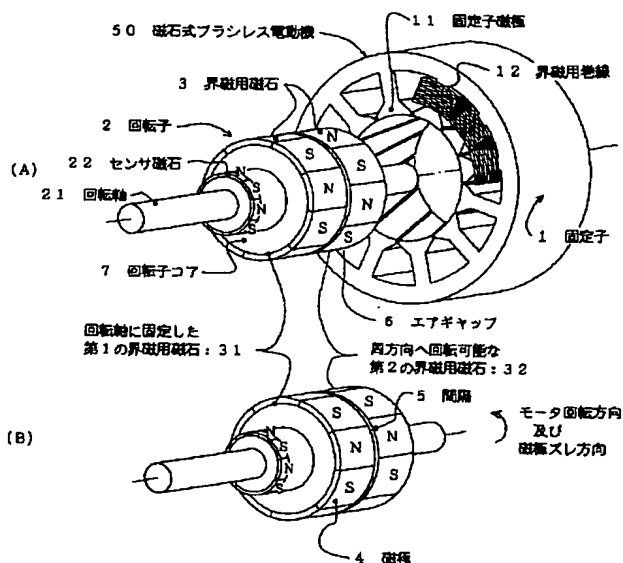
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁石式ブラシレス電動機

(57)【要約】

【課題】低回転時は高いトルクが得られ、従来の3倍近い高い回転数まで変換効率よく使用できる磁石式ブラシレス電動機を提供する。

【解決手段】回転子の界磁用磁石は、第1の界磁用磁石とこれに対して相対回転ができる第2の界磁用磁石からなり、界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有し、この機構は、低回転時には第1と第2の界磁用磁石の異なる極性の磁極を並ばせ、回転の上昇に伴い遠心力によりガバナが動き、第2の界磁用磁石に相対回転力を付与する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、および界磁用磁石の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 1 の界磁用磁石とこの第 1 の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 2 の界磁用磁石からなり、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第 1 の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有し、この回転に伴い変化させる機構は、回転子に発生する遠心力と第 1 と第 2 の界磁用磁石間の磁気作用力との釣合いにより回転子の回転数が低い時に前記第 1 と第 2 の界磁用磁石を初期位置に並ばせる手段と、回転子の回転の上昇に伴い第 2 の界磁用磁石に相対回転力を付与する手段とを有していることを特徴とする磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 2】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、および界磁用磁石の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 1 の界磁用磁石とこの第 1 の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 2 の界磁用磁石からなり、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第 1 の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有し、この回転に伴い変化させる機構は、回転子に発生する遠心力と第 1 と第 2 の界磁用磁石間の磁気作用力と回転軸のまわりに設けられて第 2 の界磁用磁石を初期位置に復元させるガバナの弾性部材の弾性力との釣合いにより、回転子の回転数が低い時に前記第 1 と第 2 の界磁用磁石を初期位置に並ばせる手段と、回転子の回転の上昇に伴い第 2 の界磁用磁石に相対回転力を付与する手段とを有していることを特徴とする磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 3】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、

回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、および界磁用磁石の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 1 の界磁用磁石とこの第 1 の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 2 の界磁用磁石からなり、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第 1 の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有し、この回転に伴い変化させる機構は、回転子の回転数が低い時に前記第 1 と第 2 の界磁用磁石の異なる極性の磁極の少なくとも一部分を並ばせる手段と、回転子の回転の上昇に伴い第 2 の界磁用磁石に相対回転力を付与する手段とを有していることを特徴とする磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 4】 複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、および界磁用磁石の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有している磁石式ブラシレス電動機において、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 1 の界磁用磁石とこの第 1 の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第 2 の界磁用磁石からなり、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第 1 の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有し、この回転に伴い変化させる機構は、回転子の回転数が低い時に前記第 1 と第 2 の界磁用磁石の異なる極性の磁極の少なくとも 50 % を並ばせる手段と、回転子の回転の上昇に伴い第 2 の界磁用磁石に相対回転力を付与する手段とを有していることを特徴とする磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 5】 回転子と対向している固定子の各磁極は、回転数が低い時の前記第 1 と第 2 の界磁用磁石の同極性の磁極と対向するように配置されていることを特徴とする請求項 1、2、3 あるいは 4 記載の磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 6】 回転子と対向している固定子の各磁極は、回転数が低い時の前記第 1 と第 2 の界磁用磁石の同極性の磁極の少なくとも一部と対向するように配置され

ていることを特徴とする請求項 1、2、3 あるいは 4 記載の磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 7】 前記の第 1 と第 2 の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第 1 の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させることによって、進角が変化することを特徴とする請求項 1 から 6 いずれかに記載の磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 8】 回転子の回転の上昇に伴い第 2 の界磁用磁石に相対回転力を付与する前記の手段は、前記回転軸に固定されて回転子とともに回転する固定部材、この固定部材に取り付けた複数の固定軸各々のまわりを遠心力により回転する複数のガバナ、各ガバナの可動側に取り付けた可動側軸、固定部材に設けられており前記固定軸を中心とした弧状のガイドとを有しており、ガバナの可動側軸がこの弧状のガイドに係合してガイドに沿って動くことによって第 2 の界磁用磁石に相対的回転力を付与することを特徴とする請求項 1 から 7 いずれかに記載の磁石式ブラシレス電動機。

【請求項 9】 回転子の回転数が低い時に前記第 1 と第 2 の界磁用磁石を初期位置に並ばせる前記の手段は、ガバナの遠心力に抗して第 2 の界磁用磁石を回転数の低い時の位置に復帰させる手段であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 いずれかに記載の磁石式ブラシレス電動機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は永久磁石を界磁に用いた電動機（例えば、電気自動車の動力源等）として有用な磁石式ブラシレス電動機に関する。

【0002】

【従来の技術】 自動車等の内燃機関では高いトルクを発生する回転領域が非常に狭い。そこで、図 10 に示すように、何種類ものギア比の異なる歯車で構成されたトランスミッションを用いて、低速から高速まで任意の速度で走れるようにしている。

【0003】 ところが、永久磁石を用いた従来のブラシレス DC 電動機の回転数とトルクの関係は図 11 に示すように、トルクは回転数に逆比例して回転数が大きくなるに従い直線的に低下する。電動機にかかる電圧を V 、電動機の界磁が作る磁界の強さに界磁の有効面積をかけた総磁束を Φ 、電機子の巻線数を Z 、抵抗を R とすると、回転数の最大値 (n_{\max}) は $V/\Phi Z$ 、トルクの最大値 (T_{\max}) は $\Phi Z V/R$ となる。電圧 V が二倍になると最大トルク、最高回転数はともに二倍に増加する。巻線数 Z を変えることにより最大トルクや最高回転数を変化させることもできる。また、総磁束 Φ が大きいほどトルクは大きくなるが、電機子側での磁気飽和に留意して上限値を定める必要がある。

【0004】 しかし、従来のブラシレス DC 電動機では、低速回転域で高いトルクが得られるが、回転数の可変範囲が狭いために高速回転することが困難であった。

そこで「弱め界磁」という手法により高速回転時には総磁束 Φ を下げることによって回転数の最大値 (n_{\max}) を上げることが考えられる。低回転数のときは大きな総磁束 Φ で図 11 の実線で示すようなトルクを得て、回転数が高くなったときには総磁束 Φ を小さくして図 11 の破線で示すような特性を得ることによって、より高い回転数まで回転させることが考えられる。

【0005】 また、回転数とともに総磁束を変えることが発電機の場合に提案されている。特開平 7-236259 号「永久磁石式発電機」には、回転子に用いている界磁用永久磁石の複数極からの鎖交磁束によって固定子に起電力を生じる永久磁石式発電機で、前記界磁用永久磁石と近接してその側面で同軸上に回転自在に配置され前記界磁用永久磁石と同極数の磁束バイパス用の永久磁石と、回転子の回転数に応じて変位するガバナ機構と、このガバナ機構の変位に対応して前記磁束バイパス用の永久磁石を磁極性の半サイクル分回転させ得るようになっており、回転子の停止時には前記バイパス用の永久磁石の磁極性を界磁用永久磁石の磁極性と同極性に配置し、高速域では前記ガバナ機構によって前記バイパス用の永久磁石を界磁用永久磁石と逆極性の位置に回転するものが開示されている。このようにして、低速回転時には界磁用永久磁石の磁極からの鎖交磁束を大として、高速回転時には界磁用永久磁石からの鎖交磁束を弱くして、発電電力を一定にしようとするものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記弱め界磁制御方式は、トルクと回転数と、時には回転加速度を常に監視し、それらの数値を基に複雑な計算を行って電流の大きさと位相とを制御しなければならず、高速なコンピューターを含む複雑で高価な制御回路が必要になる。

【0007】 また、従来の磁石式ブラシレス DC 電動機において、上記従来の発電機のように界磁用永久磁石の側面で磁極を短絡させることによって鎖交磁束量を小さくしようとしても十分には小さくすることができないことが判明した。すなわち、回転数の最大値 $n_{\max} = V/\Phi Z$ の式から明らかなように、 n_{\max} （無負荷回転数ともいう）を 2 倍以上にするには総磁束 Φ の単純な低下による場合には 50% 以上も低下させる必要があるが、界磁用磁石の側面を短絡しただけでは多くとも約 20～30% 未満低下するだけであることを本発明者らは確認している。また、上記従来の発電機では、磁束バイパス用の永久磁石が発電機の回転子と固定子とで構成されている閉じた磁気回路の外にあるので発電機の出力にはほとんど寄与しないのみならず、磁束バイパス用の永久磁石の近傍にモータケースなどの導電性および/または磁性の構造物が存在する場合にはそのバイパス用の永久磁石の発する磁束によってモータケースなどの内部に渦電流を発生させるか、あるいは磁性体との吸引力により電

動機の変換効率が低下することが考えられる。さらに、そのバイパス用永久磁石が追加部品となるため、発電機が大型化しやすいという欠点を有する。

【0008】そこで本発明は、低い回転数の時は従来のものと同じように高いトルクが得られるとともに、従来のものに比較して3倍近い高い回転数まで高いトルクで変換効率よく使用できる磁石式ブラシレス電動機（例えば、自動車の駆動用等）を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の磁石式ブラシレス電動機は、複数の固定子磁極とこの固定子磁極に回転磁界を発生するための巻線を有する固定子、回転軸とこの回転軸に設けられており前記複数の固定子磁極に対して回転する界磁用磁石を有する回転子、および界磁用磁石の磁極の固定子に対する位置を検出してその位置に応じて前記巻線に電流を供給する制御回路を有しているものであり、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第1の界磁用磁石とこの第1の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第2の界磁用磁石からなり、前記の第1と第2の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を有し、この回転に伴い変化させる機構は、回転子の発生する遠心力と第1と第2の界磁用磁石間の磁気作用力との釣合いにより、回転子の回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石を初期位置に並ばせる手段と、回転子の回転の上昇に伴い第2の界磁用磁石に相対回転力を付与する手段とを有していることを特徴とするものである。

【0010】この回転に伴い変化させる機構は、回転子の発生する遠心力と第1と第2の界磁用磁石間の磁気作用力と回転軸のまわりに設けられて第2の界磁用磁石を初期位置に復元させるガバナの弾性部材の弾性力との釣合いにより、回転子の回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石を初期位置に並ばせる手段を有することが望ましい。

【0011】この回転に伴い変化させる機構は、回転子の回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石の異極性の磁極の少なくとも一部分を並ばせる手段を有することが望ましい。また、この回転に伴い変化させる機構は、回転子の回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石の異なる極性の磁極の少なくとも50%を並ばせる手段を有することができる。

【0012】回転子と対向している固定子の各磁極は、回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石の同極性の磁極と対向するように配置されていることが望ましい。また、この回転子と対向している固定子の各磁極は、回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石の同極性の磁極の少なくとも一部と対向するように配置され

ていることができる。

【0013】更にまた、前記の第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させることによって、進角が変化することが好ましい。

【0014】回転子の回転の上昇に伴い第2の界磁用磁石に相対回転力を付与する前記の手段は、前記回転軸に固定されて回転子とともに回転する固定部材、この固定部材に取り付けた複数の固定軸各々のまわりを遠心力により回転する複数のガバナ、各ガバナの可動側に取り付けた可動側軸、前記の固定部材に設けられており前記の固定軸を中心とした弧状のガイドとを有しており、ガバナの可動側軸がこの弧状のガイドに係合してガイドに沿って動くことによって第2の界磁用磁石に相対的回転力を付与することが好ましい。

【0015】回転子の回転数が低い時に前記第1と第2の界磁用磁石を初期位置に並ばせる前記の手段は、ガバナの遠心力に抗して第2の界磁用磁石を回転数の低い時の位置に復帰させる手段であることが好ましい。このガバナの遠心力に抗して第2の界磁用磁石を回転数の低い時の位置に復帰させる前記の手段は、スキューされた固定子磁極に対向配置されている第1と第2の界磁用磁石の磁極間で発生する磁気作用力による手段および／またはばねを有していることが好ましい。またガバナの遠心力に抗して第2の界磁用磁石を回転数の低い時の位置に復帰させる前記の手段は、各ガバナの可動側軸を連結し、ガバナの遠心力に抗して引き合っているばね部材を有していることが好ましい。このように、本発明は第1と第2の界磁用磁石間に発生する磁気作用力のみで上記初期位置に並ばせることができる。更にまた、上記の磁気作用力による手段とばねを有した手段とを併用することにより、後述のとおり、初期位置への復帰精度を向上することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下に本発明を詳説する。図1に本発明の一態様である磁石式ブラシレスDC電動機の主要部を分解したものの斜視図を示す。

【0017】図1（A）において、固定子1には複数（この図では12極）の固定子磁極11に回転磁界を発生するための界磁用巻線12が巻かれている。回転子2は、回転軸21と、界磁用磁石3と、この界磁用磁石3の磁極位置を示すために回転軸21に固定されているとともにその外周面の回転方向に界磁用磁石3と同様の中心角を有した磁極パターンを形成したセンサ磁石22

（例えば、フェライト系のプラスチック磁石等）を有している。界磁用磁石3は回転軸21のまわりに強磁性の回転子コア7を介して固定された第1の界磁用磁石31およびこの第1の界磁用磁石31に相対回転できるようにした強磁性の回転子コア8上に設けられた第2の界磁用磁石32とからなっている。第1、第2の界磁用磁石

3 1、3 2 はともに外周面の回転方向に等間隔で交互に異なった極性の 8 極の磁極 4 を形成した同一寸法のリング状 Nd-Fe-B 磁石（例えば、日立金属（株）製の異方性焼結磁石：HS 4 0 AH 等）である。界磁用磁石 3 の任意磁極の固定子 1 に対する位置をセンサ磁石 2 2 で示し、その磁極位置に応じて界磁用巻線 1 2 に通電する電流を切り換える制御回路（図示せず）が付設されていて、固定子磁極 1 1 に所定の回転磁界を発生させるようになっている。

【0 0 1 8】第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 とは、初期位置では異なる極性の磁極が回転数の高いときに比べてより広い領域で並ぶようになっており、界磁用磁石 3 と狭いエアギャップ 6 を隔てて対向している固定子磁極 1 1 は第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の隣り合った同極性の磁極の少なくとも一部と対向するようにいわゆるスキューをしている。この構成により、第 1、第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 から発した磁束はともに固定子磁極 1 1 に効率良く導かれて界磁用巻線 1 2 と鎖交するので、周囲の構造物に漏れる磁束が小さく抑えられて周囲の構造物で渦電流損等の損失を発生する問題を回避することができる。

【0 0 1 9】図 1（B）に、第 2 の界磁用磁石 3 2 を第 1 の界磁用磁石 3 1 に対して相対的に回転子 2 の回転方向に回転させることによって磁極位置を初期位置からずらした状態を示した。第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 を合成した磁極の第 1 の界磁用磁石 3 1 の磁極に対する位相はこのように回転子 2 の回転に伴い変化することになる。

【0 0 2 0】界磁用巻線 1 2 への通電は、センサ磁石 2 2 の磁極をホール素子などの検出手段（図示せず）で検出し、制御を行っている。ブラシレス DC 電動機の場合、理論上回転磁界発生用巻線の通電期間の中心は界磁用磁極の NS 切り替わり点と一致させることにより最大トルクを得られる。しかし、回転磁界発生用巻線のインダクタンス等による通電司令信号に対する電流立ち上がりの遅れを見越して、通電期間の中央を界磁用磁極の NS 切り替わり点より回転順方向に進ませることが広く行われており、この通電期間を進ませる角度を一般に進角と呼んでいる。本発明ではこの進角の設定も重要である。

【0 0 2 1】図 2（A）および図 2（B）にセンサ磁石 2 2 の磁極と第 1 の界磁用磁石 3 1 および第 2 の界磁用磁石 3 2 の磁極との位置関係を示した。図 1（A）および図 2（A）では第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 とは異なる極性の磁極が図 1（B）および図 2（B）に比べてより広い領域で隣り合っているが、固定子磁極 1 1 は第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の隣り合った同極性の磁極の少なくとも一部と対向するようにスキューしているので、第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の合成した磁極の固定子磁極 1 1 に対する位相（例

えば、その合成磁極の中心）はセンサ磁石 2 2 および第 1 の界磁用磁石 3 1 の磁極と同じ位相（以下で「初期位置」と呼ぶことがある）にあるが、図 1（B）および図 2（B）では初期位置から第 2 の界磁用磁石 3 2 が回転順方向にずれた状態を示している。ここで、第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 とが略同じ磁束量を発生しているとともに第 2 の界磁用磁石 3 2 が初期位置に対して a 度回転順方向にずれた場合、第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の合成した磁極の位相は第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の磁極位相の平均値となり、その合成した磁極の位相（例えば、その合成磁極の中心）は初期位置に対して回転順方向に進角： $a/2$ 度だけ進むことになる。

【0 0 2 2】そして、第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の合成した磁極の第 1 の界磁用磁石 3 1 に対する位相を回転子 2 の回転に伴い変化させる機構によって、回転子 2 の回転数が低い時には図 1（A）や図 2（A）のように第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の異なる磁極がより広い領域で並ぶようにし、回転数が高い時には両者の合成磁極が初期位置からずれて図 1（B）や図 2

（B）に示すようになることが望ましい。すなわち、磁極がずれた場合には第 1 の界磁用磁石 3 1 の任意の S 極と第 2 の界磁用磁石 3 2 の N 極とが、第 1 の界磁用磁石 3 1 の任意の N 極と第 2 の界磁用磁石 3 2 の S 極とがスキューした固定子磁極から見た場合に部分的に重なることになる。このように両者の反対極性の磁極同士が同じ固定子磁極に対向している部分が多くなると発生磁束の局所的な短絡が多く生じるので固定子 1 側の界磁用巻線 1 2 に到達する鎖交磁束量がその分減少することになる。すなわち、回転数が高い時には両者間の相対的な磁極ずれ量に応じてその鎖交磁束量を減少させるとともに、回転数が低い場合には第 1、第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の同じ極性の磁極が固定子磁極に対向してより広い領域で並ぶことにより鎖交磁束量が最大となる。

【0 0 2 3】本発明の永久磁石式ブラシレス電動機 5 0 は以上のような構成を備えているので、広範囲の回転数変化に応じて鎖交磁束量を制御することが可能である。上記図 1 では第 1 の界磁用磁石 3 1 とセンサ磁石 2 2 の磁極位相が固定され、第 2 の界磁用磁石 3 2 が第 1 の界磁用磁石 3 1 に対して相対回転可能であるとともに、高速回転時には第 2 の界磁用磁石 3 2 の磁極が第 1 の界磁用磁石 3 1 の磁極に対して回転子 2 の回転順方向に相対的にずれる構成をとっている。

【0 0 2 4】本発明では界磁用磁石 3 1、3 2 およびセンサ磁石 2 2 の 3 部材に関して固定するか回転可能とするかの組み合わせは任意であり、例えば第 2 の界磁用磁石 3 2 とセンサ磁石 2 2 の磁極位相が固定されているとともに高速回転時には第 2 の界磁用磁石 3 2 の磁極が第 1 の界磁用磁石 3 1 の磁極に対して回転順方向に相対的にずれる構成としてもよい。

【0025】また、第2の界磁用磁石32とセンサ磁石22の磁極位相が固定されているとともに、高速回転時には第2の界磁用磁石32の磁極が第1の界磁用磁石31の磁極に対して回転逆方向に相対的にずれる構成としてもよい。

【0026】また、第1の界磁用磁石31とセンサ磁石22の磁極位相が固定されているとともに、高速回転時には第2の界磁用磁石32の磁極が第1の界磁用磁石31の磁極に対して回転逆方向にずれる構成としてもよい。

【0027】また、第1の界磁用磁石31と第2の界磁用磁石32の発生磁束量を異なるように配置した一例として、例えば図1(A)の状態において第1の界磁用磁石31と第2の界磁用磁石32の鎖交磁束量の比率が1:2の場合は、その比率が1:1の場合に比べて同一の磁極ずれ動作で界磁用巻線12に鎖交する磁束量の変化割合を増加させることができる。

【0028】さらに、センサ磁石22に別個の位相変更機構を設けることで、低回転時および高回転時において実質的に進角に変化がない構成をとることも可能である。以上の通り本発明では初期位置において、第1と第2の界磁用磁石の異極性の磁極の少なくとも一部が隣り合っているか、異なる極性の磁極部分の少なくとも50%が隣り合っており並んでおればよい。ここで、50%が隣り合っていると、例えば図2(A)において、第1と第2の1磁極幅をn、第1と第2の界磁用磁石の異なる磁極の隣接幅をmとしたとき、 $m/n=0.5$ である状態をいう。

【0029】図3と図4に、本発明の磁石式ブラシレス電動機の第1と第2の界磁用磁石31、32の一部分の展開図を示し、その上に破線で固定子磁極11を示している。これらの界磁用磁石31、32は、円筒状永久磁石の外周上に等間隔に8極を持つように、N、S、N、S、……と交互に磁化されたもので、1極当たり45度である。図3では、第1と第2の界磁用磁石31、32の異なる極性の磁極が隣り合った位置から1/4磁極分(11.25度)ずれて同極性の磁極が部分的に隣り合っている位置を初期位置として、そこからのずれa度の磁極を二点破線で示している。また、固定子磁極11のスキューは30度としたものを示している。図3において、初期位置からの第2の界磁用磁石32のずれ角度aに対して、初期位置での合成磁束量を100%とした場合の第1と第2の界磁用磁石の合成磁束量を表1に示す。

【0030】

【表1】

ずれ角度 a 度	合成磁束量 (%)
0	100
7	94
14	80
21	65
28	52

【0031】図4では、第1と第2の界磁用磁石31、32の同じ極性の磁極が互いに50%ずれた位置(2.5度ずれた位置)を初期位置として、そこからのずれ角度がa度となった磁極の位置を二点破線で示している。また、固定子磁極11は45度のスキューを付けたものを示している。図4において、初期位置からの第2の界磁用磁石32のずれ角度に対して、初期位置での合成磁束量を100%とした場合の第1と第2の界磁用磁石の合成磁束量を表2に示す。

【0032】

【表2】

ずれ角度 a 度	合成磁束量 (%)
0	100
7	95
14	82
21	68
28	55

【0033】第1と第2の界磁用磁石31、32の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石31の磁極に対して回転子2の回転に伴い変化させる機構としては図5に示すものが望ましい。

【0034】図5において、第1の界磁用磁石31は回転子コア7を介して回転軸21に固定されており、第2の界磁用磁石32は回転子コア8の中央の軸穴321に回転軸21が挿通されて回転軸21まわりに所定量回るようにになっている。後で述べるように第2の界磁用磁石の回転に、第1の界磁用磁石31と第2の界磁用磁石32との間に作用する吸引力および/または反発力を利用するので、できるだけ両者間を近接させておくことが望ましいが、少しの間隔5を開けておくほうが動きが容易となるので望ましい。

【0035】回転子の回転数の上昇に伴い第2の界磁用磁石に相対回転力を付与する手段をまず説明する。ガバナ固定部材33は回転軸21に固定されていて回転軸とともに回転するようになっており、このガバナ固定部材33の端面には中心角90度間隔で上下左右対称位置に設けた4つの穴331に各々回転支軸(固定軸)341が嵌着されている。ガバナ34は略円弧状の部品で両端部に貫通穴348、349を設けてある。貫通穴348には固定軸341が嵌着され、貫通穴349には可動側軸342が嵌着されてガバナ34を保持している。このようにして各ガバナ34は固定軸341のまわりに回転するようになっている。さらに、上記穴331の各近傍に点対称に4つの円弧状の長穴(弧状のガイド)332

が固定軸 3 4 1 (穴 3 3 1) を中心とした弧状に設けてある。また、回転子コア 8 の片側面には中心角 9 0 度間隔で上下左右対称な半径方向に 4 つの長溝 3 2 2 が設けてあり、これらの各弧状のガイドおよび各長溝に上記可動側軸 3 4 2 が係合挿入されている。

【0 0 3 6】回転子 2 の回転数が大きくなってくると遠心力によりガバナ 3 4 は図 5 (B) に示す状態に開きガバナ 3 4 の可動側軸 3 4 2 がガバナ固定部材 3 3 の弧状のガイド 3 3 2 に沿って外周側に動くと同時に、弧状のガイド 3 3 2 が長溝 3 2 2 に対して回転子 2 の外周側に向かって回転方向にずれて設けてある分だけ可動側軸 3 4 2 の長溝 3 2 2 挿入部分がその長溝 3 2 2 を介して回転子コア 8 を矢印方向に回転させるので第 2 の界磁用磁石 3 2 が第 1 の界磁用磁石 3 1 に対して矢印方向に回転する。

【0 0 3 7】回転子の回転数が低い時に第 1 と第 2 の界磁用磁石の磁極を初期位置に並ばせる手段として、ガバナの遠心力に抗して第 2 の界磁用磁石を初期位置 (第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 との異なる極性の磁極が隣り合っている位置) に復帰させる手段がある。この初期位置に復帰させる手段として、図 5 では第 1 と第 2 の界磁用磁石間に発生する磁気作用力のみにより、上記 4 本の可動側軸 3 4 2 が弧状のガイド 3 3 2

(長溝 3 2 2) 内の p 方向の力を受けて回転軸 2 1 に最も近い位置に来て、第 1 と第 2 の界磁用磁石は初期位置に復帰するようになっている。本発明による図 5 の構成を更に説明すると、初期位置 (図 5 (A)) においてスキューされた固定子磁極に対向している。

【0 0 3 8】第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 の異なる極性の磁極同士が広い領域で隣り合っているため、第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 とは磁気的に吸引し合っており安定である。回転子の回転数が上昇してガバナ 3 4 に遠心力が作用して、第 2 の界磁用磁石 3 2 が初期位置からずれると、第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 の同極性の磁極が次第に隣接して来るようになるので、その間に磁気的な反発力が生じる。第 2 の界磁用磁石 3 2 が初期位置から最もずれた位置でこの磁気的な力が最大となるので、回転子の回転数が低下してくると磁気的な反発吸引によって第 2 の界磁用磁石を初期位置に戻すように作用する。この第 1 と第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 間に作用する磁気的な反発吸引力のみを用いた図 5 の初期位置復帰手段によれば構造を簡略化し、構成部品点数を減らすことができる利点がある。また、本発明においては図 6 に示すように、上記の磁気的な反発吸引力とガバナ 3 4 に取り付けたばね 3 4 3 の復元弾性力との併用によって、図 5 に比べて初期

位置への復帰位置精度のばらつきを 5 0 % 未満に抑えることができる。

【0 0 3 9】図 7 は本発明の磁石式ブラシレス電動機の高速回転時における、図 5 の構成 (磁気力のみ) の場合の初期位置への復元力、図 6 の構成 (磁気力とばね力の併用) の場合の初期位置への復元力の一例を示している。図 7 より、3 0 N 以上の高い復元力の得られる固定子のスキュー角度範囲は磁気力のみの場合が 2 7 ~ 6 3 度、磁気力とばね力の併用の場合が 3 ~ 8 7 度となっていることがわかる。

【0 0 4 0】また、回転子コア 8 に長溝 3 2 2 を設けてあるので長溝 3 2 2 からガバナ 3 4 に至る軸方向寸法 (L) の長寸化を抑えることができるとともに、作用する遠心力を考慮して所定の回転数で上記の磁極ずれ動作が起こるようにばね 3 4 3 のばね定数を適宜設定することで、あるいは、隣接して設けられた界磁用永久磁石の吸引/反発力を調整することで、後述の実施例に示されるように幅広い回転数領域で高いトルクおよびモータ変換効率を得ることができる。

【0 0 4 1】

【実施例】

(実施例イ〜ニ) 本発明の上記磁石式ブラシレス電動機 5 0 において、第 1 および第 2 の界磁用磁石 3 1、3 2 として日立金属 (株) 製の Nd - Fe - B 系のラジアル異方性リング磁石 (HS - 3 0 BR、外径 7 4 mm、軸長 2 3 mm のもの) を用いるとともにエアギャップ 6 を 0. 5 mm とし、第 1 の界磁用磁石 3 1 と第 2 の界磁用磁石 3 2 を上記図 4 に示したように異なる極性の磁極が 5 0 % (2 2. 5 度) 並んだ状態を初期位置としたものを用意し、固定子磁極のスキューを 4 5 度とした。回転数増加に伴う上記磁極ずれ機構によって、初期位置からずらして磁束量を減少させて、一歯有効磁束量減少率および進角を下記表 3 の条件で同時に変化させた場合の回転数 - トルク特性を図 8 に、回転数 - モータ変換効率を図 9 に示した。ここで、一歯有効磁束量とは磁石回転子から電機子の一磁極に流れ込む最大鎖交磁束量をいう。

【0 0 4 2】(従来例ホ) 第 1 と第 2 の界磁用磁石は上記実施例のものと同じであるが、第 2 の界磁用磁石も第 1 の界磁用磁石と異なる極性の磁極が 5 0 % 並ぶようにして回転軸に固定するとともに進角を 5. 5 度で固定した以外は上記実施例と同様にして評価した従来の磁石式ブラシレス電動機の回転数 - トルク特性を図 8 に、回転数 - モータ変換効率を図 9 に併記した。

【0 0 4 3】

【表 3】

	低回転時進角 (度)	磁極ずれ (度)	高回転時進角 (度)	一歯有効磁束量 減少率 (%)
実施例 イ	20	0→28	6	45
実施例 ロ	15	0→28	1	45
実施例 ハ	10	0→28	-4	45
実施例 ニ	5.5	0→28	-8.5	45
従来例 ホ	5.5	0→0	5.5	0

【0044】図8、図9および表3について実施例イの磁石式ブラシレス電動機で代表して説明すると、回転数が低く1000rpm未満の時には低回転時進角が20度であるとともに、1000rpm以上に回転数が高くなって磁極ずれが28度(最大値)のときの高回転時進角が6度となるように設定してある。すなわち、回転数が1000rpm未満の時には、第1と第2の界磁用磁石31、32の磁極の位相ずれが50%(22.5度)の状態ではセンサ進角を20度にしてある。そして、回転数が1000rpm以上になったときに第2の界磁用磁石32は遠心力によるガバナ34の働きで回転子2の回転方向に第1の界磁用磁石31に対して初期位置から28度回転して、第1と第2の界磁用磁石31、32の合成した磁極の位相は第2の界磁用磁石32の磁極の位相の半分だけ進む。従って、進角はそれだけ遅れてくる。第2の界磁用磁石32の磁極ずれが最大の28度になったときにその半分の14度だけ進角が遅れて6度となる。このときの一歯有効磁束量減少率は45%(100%→55%)であり、従来例ホに比べて幅広い回転数領域で高いトルクおよびモータ変換効率を達成できていることがわかった。

【0045】また、実施例ロ、ハ、ニについても図示の通り、従来例ホに比べて幅広い回転数領域で高いトルクおよびモータ変換効率を達成できていることがわかった。さらに、実施例イ、ロ、ハ、ニを比較すると、低回転時進角の大きいものほど幅広い回転数領域で高いトルクおよびモータ変換効率を達成できていることがわかった。

【0046】図8、図9から明らかなように、本発明の磁石式ブラシレス電動機は、従来使用の電動機と比較して、定格トルク(7Nm)や最高効率を低下させることなく、無負荷回転数(n_{00x})を3.5倍にまで引き上げることができた。また、幅広い回転数領域で高いトルクおよびモータ変換効率を得られた。

【0047】上記磁極ずれ角(θ :度)の大きさは、上記界磁用磁石31、32の外周側に対称 n 極の磁極パターンを形成した場合、その n 極の各磁極の中心角を(x :度)とすると、 $x/2 \leq \theta \leq 0.8x$ とすることが好ましい。これは、($x/2$:度)未満では回転数の増加に伴う磁極ずれ動作による一歯有効磁束量の減少率が30%以上を確保でき難いとともに、($0.8x$:度)を超えると逆方向の回転力の発生を招来する可能性が高くなり本発明の上記磁極ずれ機構に支障を来すから

である。固定子のスキュー角(β :度)の大きさは、上記磁極ずれ角(θ :度)に対して $\theta \leq \beta \leq 4\theta$ とすることが好ましい。 β が θ 未満または 4θ を超えると初期位置への十分な復元力を得ることが困難となる。

【0048】進角(α :度)は、 $0 < \alpha \leq x/2$ とすることが好ましい。この上限値は進角の定義から自明であり、下限値は0を含まない制御可能な進角を設定可能であるからである。

【0049】また、上記本発明の態様では、第1、第2の界磁用永久磁石の外周面に同じ対称8極の磁極パターンを形成した場合を記載したが、両者が同じ非対称の磁極パターンであってもよい。さらに、磁極数は限定されるものではないが好ましくは2極~128極、より好ましくは4~32極のものに非常に有用である。また、第1および第2の界磁用磁石が異なる磁極パターンを有していてもよい。さらには、例えば第1および第2の界磁用磁石の固定子磁極に対して発生する鎖交磁束量の比率を異なる適宜の値に設定することで、高回転数になるとともに1つの磁極ずれ動作によってより大きな鎖交磁束量の変化が可能である。

【0050】また、上記本発明の態様では、同軸に配置した2つの界磁用磁石を用いて回転数の変化に伴ってそのうちの1つを相対回転させることで磁石式ブラシレス電動機の鎖交磁束量を減少させたが、3つ以上の界磁用磁石を用いて1つまたは2つ以上の界磁用磁石を回転軸に固定するとともに残りの界磁用磁石を相対回転させることでも本発明を構成することができる。

【0051】また、本発明では界磁用磁石の形状、寸法、個数等は限定されるものではなく、回転子の外周面回転方向に交互に異なる磁極が形成されるように回転子コア上に任意の界磁用磁石を配置可能である。例えば、固定子に対向配置させた回転子コアの外周面回転方向にアークセグメント磁石をリング状に連続して貼り付けするか、あるいはその回転子コアの外周面回転方向に所定の間隙を開けてアークセグメント磁石を所定の磁極数分配置する構成等により上記回転子2に代えてもよい。また、上記図1の界磁用磁石の外周面に薄いカバー(例えば、非磁性カバー等)を配置したもので上記回転子2に代えてもよい。

【0052】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の磁石式ブラシレス電動機は低い回転数の時は従来のものと同じ様に高いトルクが得られるとともに、従来のものと比較し

て3倍近い高い回転数まで高いトルクで変換効率良く使用できるものとなったので、例えば自動車の駆動用電動機として内燃機関に代えて使える有用なものとなった。

【0053】特に、(1)初期位置復帰手段として磁気作用力のみを用いることで磁石式ブラシレス電動機の部品点数を省略できる。(2)ばねとの併用により初期位置復帰精度のばらつきを小さくできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁石式ブラシレス電動機の一態様を示す主要部の分解斜視図であり、磁極ずれが無い状態

(A)および磁極ずれ状態(B)を示している。

【図2】本発明の磁石式ブラシレス電動機において界磁用磁石の磁極の進角を説明する図であり、磁極ずれが無い状態(A)および磁極ずれ状態(B)を示している。

【図3】本発明の磁石式ブラシレス電動機に使用する一例の界磁用磁石の展開図の一部を示す図である。

【図4】本発明の磁石式ブラシレス電動機に使用する一例の界磁用磁石の展開図の一部を示す図である。

【図5】本発明の磁石式ブラシレス電動機において、遠心力と磁気作用力との釣合いにより、第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を示す分解斜視図であり、(A)は低回転の時、(B)は高回転の時である。

【図6】本発明の磁石式ブラシレス電動機において、遠心力と磁気作用力とばねの弾性力との釣合いにより、第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子の回転に伴い変化させる機構を示す分解斜視図であり、(A)は低回転の時、(B)は高回転の時である。

【図7】本発明の磁石式ブラシレス電動機における固定子のスキュー角と初期位置への復元力との関係の一例を示す図である。

【図8】本発明および従来の磁石式ブラシレス電動機の回転数-トルク特性の一例を示す図である。

【図9】本発明および従来の磁石式ブラシレス電動機の回転数-モータ変換効率の一例を示す図である。

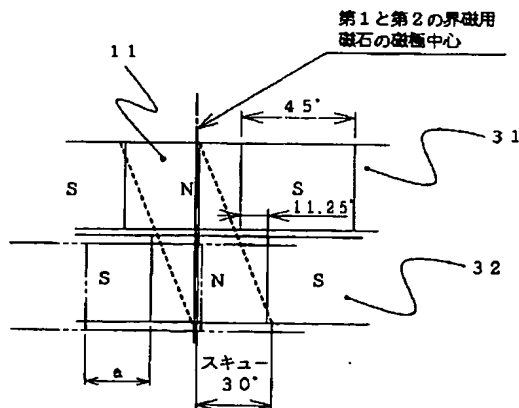
【図10】トランスミッション付の内燃機関の出力特性図である。

【図11】従来のブラシレスDC電動機の実験特性図である。

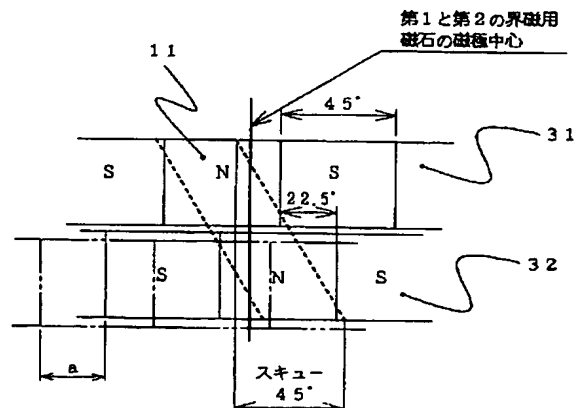
【符号の説明】

- 1 固定子
- 2 回転子
- 3 界磁用磁石
- 4 磁極
- 5 間隔
- 6 エアギャップ
- 7、8 回転子コア
- 11 固定子磁極
- 12 界磁用巻線
- 21 回転軸
- 22 センサ磁石
- 31 第1の界磁用磁石
- 32 第2の界磁用磁石
- 33 固定部材
- 34 ガバナ
- 50 磁石式ブラシレス電動機
- 321 軸穴
- 322 長溝
- 331 穴
- 332 弧状のガイド
- 341 回転支軸(固定軸)
- 342 可動側軸
- 343 ばね
- 348、349 貫通穴

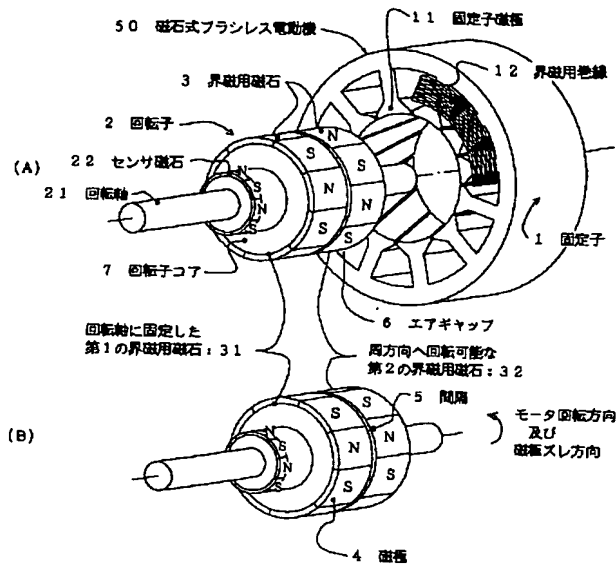
【図3】



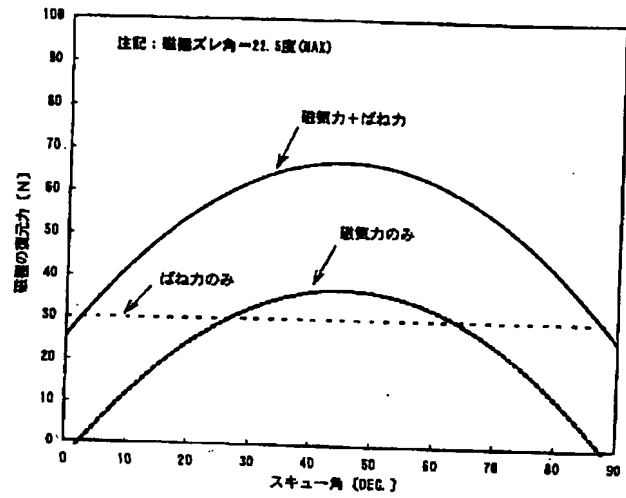
【図4】



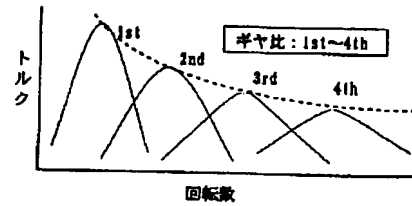
【図 1】



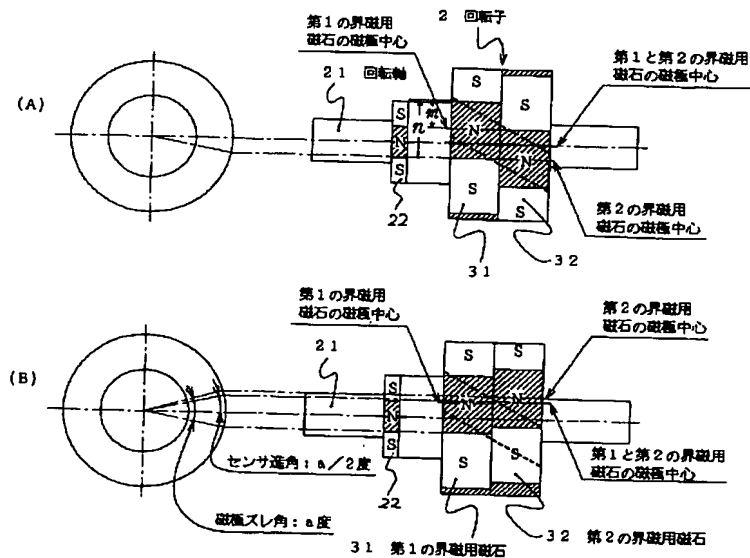
【図 7】



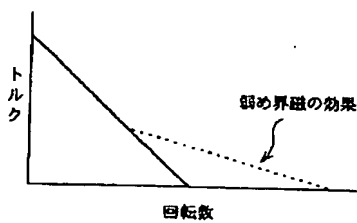
【図 10】



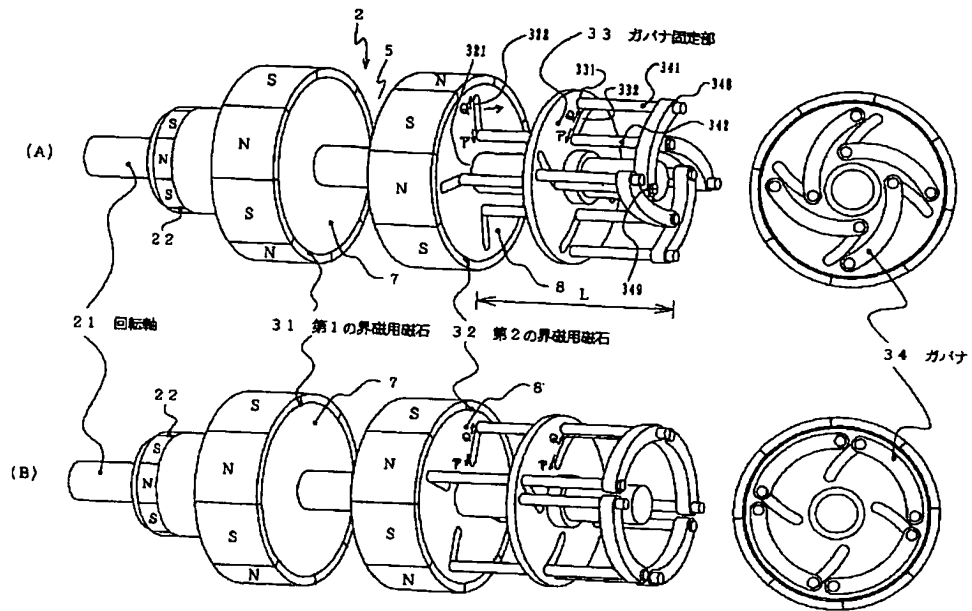
【図 2】



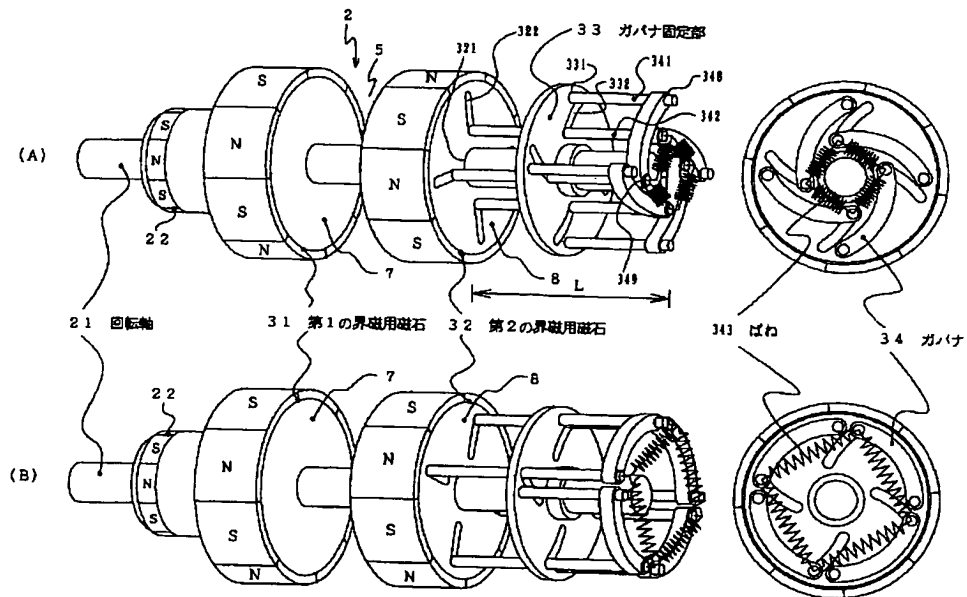
【図 11】



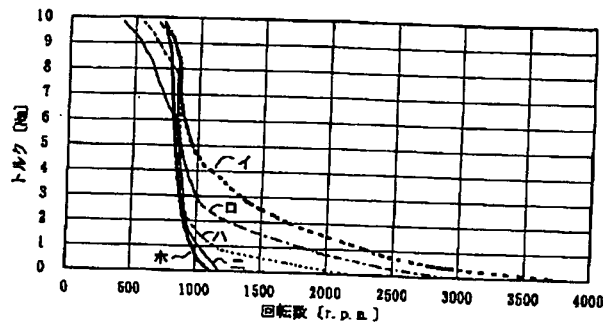
【図5】



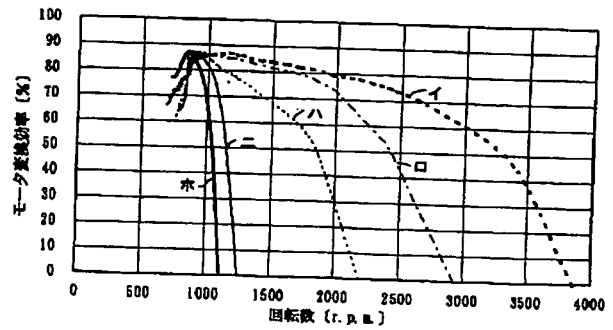
【図6】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 三田 正裕

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株
式会社磁性材料研究所内